

Method for determining the state of charge and loading capacity of an electrical storage battery

Patent number: DE10021161
Publication date: 2001-10-31
Inventor: RICHTER GEROLF (DE); LAIG-HOERSTEBROCK HELMUT (DE); MEISNER EBERHARD (DE)
Applicant: VB AUTOBATTERIE GMBH (DE)
Classification:
 - international: G01R31/36; H01M10/42; H02J7/00
 - european: G01R31/36V1C, G01R31/36V3
Application number: DE20001021161 20000429
Priority number(s): DE20001021161 20000429

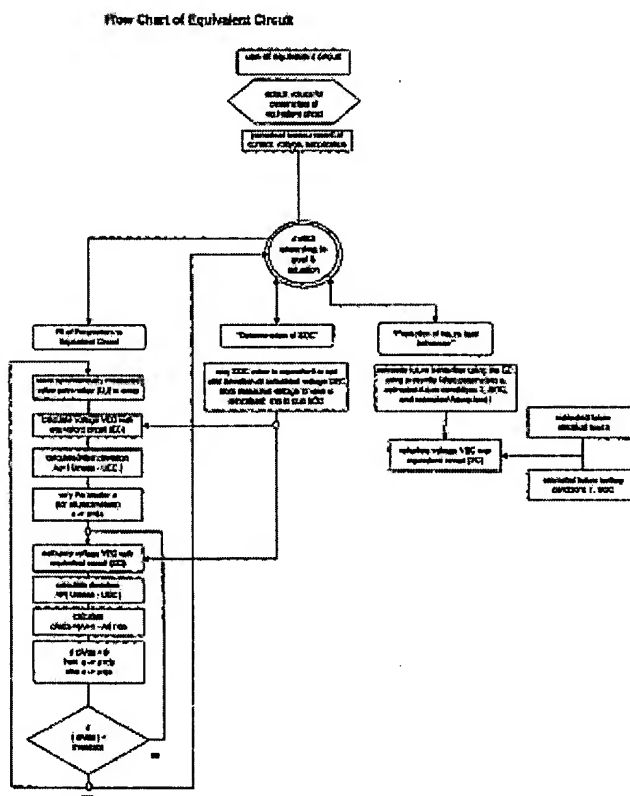
Also published as:

EP1150131 (A1)
 US6362598 (B2)
 US2001035739 (A1)

Abstract not available for DE10021161

Abstract of correspondent: **US2001035739**

The invention relates to a method for determining the state of charge and loading capacity of an electrical storage battery by measuring current, voltage and temperature and comparing the measured values with the corresponding values for the response of an equivalent circuit diagram of the storage battery, the parameters of the components in the equivalent circuit diagram and the state variables being varied such that the measured values are matched and that the state of charge and loading capacity are determined from the adjusted parameters and state variables determined



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY



18 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift
DE 100 21 161 A 1

10 Δ EP 1 150 131 A1

21 Aktenzeichen: 100 21 161.5
22 Anmeldetag: 29. 4. 2000
43 Offenlegungstag: 31. 10. 2001

51 Int. Cl. 7:
G 01 R 31/36
H 01 M 10/42
H 02 J 7/00

DE 100 21 161 A 1

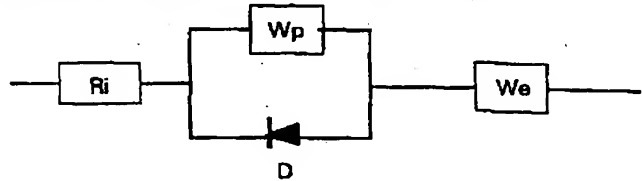
71 Anmelder:
VB Autobatterie GmbH, 30419 Hannover, DE
74 Vertreter:
Kaiser, D., Dipl.-Ing., Pat.-Ass., 65779 Kelkheim

72 Erfinder:
Laig-Hörstebroek, Helmut, Dr., 60320 Frankfurt, DE;
Meißner, Eberhard, Dr., 65719 Hofheim, DE; Richter,
Gerolf, Dr., 31139 Hildesheim, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Verfahren zur Ermittlung des Ladezustands und der Belastbarkeit eines elektrischen Akkumulators

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung des Ladezustands und der Belastbarkeit eines elektrischen Akkumulators durch Messung von Strom, Spannung und Temperatur und Vergleich der gemessenen Werte mit den entsprechenden Werten des Verhaltens eines Ersatzschaltbildes des Akkumulators, wobei die Parameter der Komponenten des Ersatzschaltbildes und die Zustandsgrößen derart variiert werden, dass Übereinstimmung mit den gemessenen Werten hergestellt wird und dass aus den so ermittelten angepassten Parametern und Zustandsgrößen auf den Ladezustand und die Belastbarkeit geschlossen wird. Das Ersatzschaltbild des Akkumulators enthält eine Reihenschaltung aus einem Innenwiderstand R_i , einer Parallelschaltung aus einer Warburg-Impedanz W_p für Diffusionsvorgänge in den aktiven Massen und einem Element mit diodenähnlicher Kennlinie D , das die kinetischen Abhängigkeiten der Batterie enthält, und einer Warburg-Impedanz W_e für die Säurediffusion im Akkumulator.



DE 100 21 161 A 1

[0001] Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zur Ermittlung des Ladezustands und der Belastbarkeit eines elektrischen Akkumulators durch Messung von Strom, Spannung und Temperatur und Vergleich der gemessenen Werte mit den entsprechenden Werten des Verhaltens eines Ersatzschaltbildes des Akkumulators, wobei die Parameter der Komponenten des Ersatzschaltbildes und die Zustandsgrößen derart variiert werden, dass Übereinstimmung mit den gemessenen Werten hergestellt wird und dass aus den so ermittelten angepassten Parametern und Zustandsgrößen auf den Ladezustand und die Belastbarkeit geschlossen wird.

[0002] Für den Anwender von Akkumulatoren ist es von besonderer Bedeutung, über ausreichend genaue Verfahren zur Bestimmung des Ladezustands sowie der Belastbarkeit und Verfügbarkeit eines Akkumulators für eine bestimmte Anwendung zu verfügen. Erforderlich ist diese Bestimmung beispielsweise bei Elektroantrieb und Elektro-Hybridantrieb eines Kraftfahrzeugs, für die Bewertung der Startfähigkeit eines Verbrennungsmotors, für die Verfügbarkeit der Stromversorgung für Komponenten wie der elektrisch betriebenen oder angesteuerten Bremssysteme, Lenksysteme und Lenkhilfen, Stabilisierungssysteme und für sonstige wichtige Funktionen, aber auch für die Ansteuerungen von Komponenten zur Steuerung und Regelung von elektrischen Bauteilen, insbesondere der Lastzuschaltung und Lastabschaltung und der Spannungsregelung, sowie für Anzeigergeräte, die den Betreiber des Fahrzeugs über den Betriebszustand informieren.

[0003] Zur Messung des Ladezustands von Akkumulatoren sind die verschiedensten Verfahren bekannt.

[0004] In vielen Fällen werden integrierende Messgeräte (Stromzähler) benutzt. Diese Verfahren zeigen bei Batterien im Anwendungsbereich kompletter Ladung und Entladung mit nur seltenen Zwischenladungen sehr gute Erfolge. Fehler können entstehen durch Mess- und Rechengenauigkeiten, parasitäre Ladungsverluste im Akkumulator, die Alterung des Stromspeichers sowie sich mit der Höhe des Lade- bzw. Entladestroms ändernde entnehmbare Batteriekapazitäten. Allerdings ist es mit Hilfe solcher integrierender Verfahren nicht möglich, eine zuverlässige Aussage über die aktuelle Leistungsbereitschaft (Produkt Strom mal Spannung) der Batterie zu machen, da z. B. die Änderung des Innenwiderstands eine Funktion der hinsichtlich Zeitdauer und Stromhöhe vorausgegangenen Voll- bzw. Teilzyklen ist.

[0005] Die erwähnten Schwachpunkte der Ladungsbilanzierungsmethode können durch eine mathematische Modellbildung des Akkumulators weitgehend überwunden werden. Verfahren mit mathematischen Modellen (beschreibenden Gleichungen bzw. mathematisch darstellbaren Ersatzschaltbildern), deren Auswertung auf elektronischen Rechenanlagen bei Vorgabe eines Satzes von batterietypischen Grunddaten bzw. Ersatzschaltbildkomponentendaten erfolgt, machen eine Ladezustandserfassung der parallel zum Modell zeitgleich betriebenen Batterie möglich. Limitierender Faktor dieser Methoden ist lediglich die Güte des zugrunde liegenden Modells, sowie die Qualität der Eingabeparameter hinsichtlich ihrer Übereinstimmung mit der zu betrachtenden Batterie.

[0006] Als Auswertemethode hat sich insbesondere der regelungstechnische Nullabgleich der über das Modell errechneten Ausgangsspannung mit der tatsächlichen Batteriespannung unter den Bedingungen gleicher Temperatur und gleichen Stromdurchsatzes als besonders brauchbar erwiesen. Diese Art der Auswertung lässt auch eine Abschätzung der Alterungsvorgänge im Akkumulator zu.

[0007] Derartige Verfahren sind beispielsweise der

EP 471698 B1 (= WO 90/13823) zu entnehmen, gemäß der die Prozesseingangsgrößen (Spannung, Strom, Temperatur) des Akkumulators gemessen und in einem Rechner verarbeitet werden, wobei nach dem Prinzip des indirekten Messens ein vorgebbares Modell in Form mehrparametriger Funktionen, das den Ladezustand und die zu bestimmenden physikalischen Größen und ihre physikalischen Beziehungen zueinander repräsentiert mit den gemessenen Prozesseingangsgrößen verglichen wird und für die nachfolgende Messung im Falle von Abweichungen die Modellparameter adaptiert werden. Zur Ermittlung des Ladezustandes wird beispielsweise eine vielparametrige Beschreibung in Form eines Modells verwendet.

[0008] Über die tatsächliche Ausgestaltung des Modells bzw. des Ersatzschaltbildes lassen sich dieser Druckschrift keine näheren Angaben entnehmen.

[0009] Dem Dokument "Ladezustandsschätzung von Bleibatterien mit Hilfe des Kalman-Filters" von P. Lürkens und W. Steffens (ETZ Archiv Band 8 (1986) Heft 7 Seiten 231-236) ist ein Verfahren zur Bestimmung des Ladezustands zu entnehmen, bei dem die Methode der Zustandsschätzung mit Hilfe des Kalman-Filters Verwendung findet. In der Druckschrift ist auch ein geeignetes Ersatzschaltbild für einen Bleiakкумулятор angegeben.

[0010] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Ermittlung des Ladezustands eines Akkumulators anzugeben, welches großen Ladungsaustausch in Relation zur Batteriekapazität, Ruhepausen und Standby-Phasen sowie Batteriealterung erfasst und welches eine Ersatzschaltbildsimulation enthält, die insbesondere im Kfz eingesetzt werden kann, wo sich der Einsatz von Großrechnern verbietet.

[0011] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß beim eingangs genannten Verfahren durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. In den Unteransprüchen sind weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens angegeben.

[0012] In dem erfindungsgemäßen Ersatzschaltbild werden die Diffusionsprozesse durch Warburg-Impedanzen beschrieben. In allen Batteriesystemen spielen Diffusionshemmungen eine sehr bedeutende Rolle. Dies betrifft sowohl die Diffusion von Komponenten im Elektrolyten wie auch Diffusionsvorgänge in den aktiven Materialien. Diese Mechanismen sind auch beim Bleiakкумулятор von entscheidender Bedeutung, konkret die Säurediffusion und die Protonendiffusion im positiven Aktivmaterial PbO_2 .

[0013] Die Diffusionsglieder werden somit im elektrischen Ersatzschaltbild als Ketten von Widerständen in Serie und Kapazitäten parallel dazu dargestellt. Eine Warburgimpedanz als Kette aus n Widerständen und Kondensatoren stellt physikalisch eine Aufteilung des Raumes, in dem der Diffusionsprozess abläuft, in n Schichten dar. Dabei repräsentieren die Widerstände die Hemmung des Diffusionsprozesses zwischen benachbarten Schichten, während die Kondensatoren die Speicherfähigkeit einer jeden Schicht beschreiben. Die Anzahl n der Schichten wird unter Abwägung der erforderlichen Genauigkeit einerseits und der Einfachheit der rechnerischen Behandlung andererseits festgelegt.

[0014] Das erfindungsgemäß verwendete Ersatzschaltbild enthält im Einzelnen folgende Komponenten:

- einen Innenwiderstand R_i ,
- eine Warburg-Impedanz W_e für die Säurediffusion im Akkumulator, und
- eine Parallelschaltung aus einer weiteren Warburg-Impedanz W_p für Diffusionsvorgänge in den aktiven Massen und einem Element D mit diodenähnlicher

Kennlinie, das die kinetischen Abhängigkeiten der Batterie enthält,
 - gegebenenfalls eine Konstantspannungsquelle U_0 .

[0015] Dabei sind die Komponenten W_p und D parallel zueinander geschaltet und diese Parallelschaltung ist mit den Komponenten U_0 , R_i und W_e in Serie geschaltet.

[0016] Dabei berücksichtigt die Konstantspannungsquelle U_0 auch die Abhängigkeit der unbelasteten Batteriespannung von der aktuellen Elektrolytkonzentration.

[0017] Die Warburg-Impedanz W_p enthält stromrichtungs- und spannungsabhängige Widerstände und das Element D besitzt eine diodenähnliche Kennlinie mit Durchlassrichtung bei Strömen in Entladerichtung des Akkumulators.

[0018] Die Warburg-Impedanzen W_e und W_p sind Bauelemente, die mindestens eine Parallelschaltung eines Kondensators C mit einer Serienschaltung aus einem Widerstand R und einem weiteren Kondensator C enthalten, wobei jeweils dem Kondensator C eine weitere Serienschaltung aus einem Widerstand und einem weiteren Kondensator C parallelgeschaltet sein kann. Die Anzahl dieser Parallelschaltungen wird nach der gewünschten Genauigkeit gewählt.

[0019] Die Warburg-Impedanzen setzen sich aus einer Kette aus n Widerständen und Kondensatoren zusammen, die physikalisch eine Aufteilung des Raumes in n Schichten darstellt, in dem der Diffusionsprozess abläuft; dabei repräsentieren die Widerstände die Hemmung des Diffusionsprozesses zwischen benachbarten Schichten, während die Kondensatoren die Speicherfähigkeit einer jeden Schicht beschreiben; die Anzahl n der Schichten wird unter Abwägung der erforderlichen Genauigkeit einerseits und der Einfachheit andererseits der rechnerischen Behandlung festgelegt.

[0020] Die mittlere Spannung U_{We} an den Kondensatoren der Elektrolyt-Warburg-Impedanz W_e wird als Maß für den Ladezustand SOC (state of charge) des Akkumulators gewählt, wobei der Ladezustand SOC den Wertebereich von 0 (für den vollständig entladenen) bis 1 (für den vollständig geladenen Akkumulator) umfasst. Für den Ladezustand SOC einer einzelnen elektrochemischen Speicherzelle gilt etwa

$$SOC = U_{We}/0.2$$

[0021] Vorzugsweise wird fortwährend zeitgleich die Spannung U und die Temperatur T des Akkumulators sowie der durch ihn fließende Strom I gemessen. Dann wird ausgehend von einem bekannten Ladezustand des Akkumulators durch Variation der Parameter des Ersatzschaltbildes eine Minimierung der Differenz zwischen berechneter und gemessener Spannung U (z. B. nach der Methode der kleinsten Quadrate) durchgeführt und ein optimaler Satz von inneren Parametern des Ersatzschaltbildes ermittelt.

[0022] Bei unbekanntem Ladezustand und bei bekannten inneren Parametern des Ersatzschaltbildes wird ausgehend von einem geschätzten Ladezustand des Akkumulators, durch Variation des Ladezustandes in mehreren Durchläufen die Spannungsantwort des Ersatzschaltbildes so lange berechnet und mit der gemessenen verglichen, bis berechnete und geschätzte Spannungen übereinstimmen.

[0023] Aus den so erhaltenen Werten von Ladezustand und Parametern des Ersatzschaltbildes wird auf die Belastbarkeit des Akkumulators geschlossen, diese Werte werden angezeigt, und/oder aus diesen Werten werden Konsequenzen für den Betrieb des Akkumulators und/oder des mit dem Akkumulator verbundenen Systems abgeleitet.

[0024] Im Folgenden ist das erfindungsgemäße Verfahren anhand von Figuren näher erläutert. Soweit in diesen Bei-

spielen konkrete Zahlenwerte genannt sind, beziehen diese sich auf einen 6-zelligen Bleiakкумуляtor mit einer Kapazität von 60 Ah.

[0025] Fig. 1 zeigt schematisch ein Ersatzschaltbild gemäß der Erfindung, Fig. 2 den Aufbau einer Warburg-Impedanz, Fig. 3 ein Ersatzschaltbild für die Widerstandsglieder in der Warburg-Impedanz, die Fig. 4 und 5 zeigen spezielle Kennlinien von im Ersatzschaltbild verwendeten Bauelementen und Fig. 6 und 7 zeigt einen Vergleich zwischen am Beispielsakkumulator gemessenen Werten und den aus der Ersatzschaltbild-Simulation gewonnenen Werten.

[0026] Das erfindungsgemäße Ersatzschaltbild ist in Fig. 1 dargestellt. Es setzt sich grob zusammen aus einem ohmschen Widerstand R_i , einer Parallelschaltung einer Warburgimpedanz W_p , welche die Diffusionsvorgänge beschreibt, und einem Schaltelement D mit grob diodenähnlichem Verhalten, welches einen großen Teil der kinetischen Lade-, Entlade- und Gasungs-Hemmungen des Akkumulators beschreibt, sowie einer zweiten Warburgimpedanz W_e , die die Säurediffusion beschreibt.

[0027] Der Widerstand R_i enthält neben den rein ohmschen Komponenten der Batterie, wie Ableiterwiderstände und Elektrolytwiderstand in der Separation, auch Widerstandsanteile der elektrochemischen Elektrodenreaktionen.

[0028] Die Diffusionsprozesse werden beschrieben durch die Warburg-Impedanzen W_p und W_e . Deren Aufbau ergibt sich daraus, dass der "Diffusions"-Raum in n diskrete Schichten einer bestimmten Dicke eingeteilt wird und die Mengenbilanzen errechnet werden. Die Änderung der Spannung in einer Schicht während eines Zeitintervalls berechnet sich aus den Dicken der Schicht und der ihrer Nachbarschichten, den Spannungen an diesen, und den Widerständen zwischen den Schichten sowie den Kapazitäten der Schichten.

[0029] Der Bleiakкумуляtor polarisiert beim Laden stark, während er bei Entladung sogar oberhalb der Ruhespannung nur wenig Polarisation zeigt. Die Erfindung berücksichtigt dies dadurch, dass die (Diffusions-)Widerstände R der Warburgimpedanz W_p je nach Stromrichtung variabel gewählt werden. In Fig. 3 ist ein Ersatzschaltbild dieser Widerstände R_k dargestellt, mit dem Widerstand R_{k-1} (Ladung) und dem Widerstand R_{k-e} (Entladung) und der entsprechenden Entkopplungsdioden $D1$. Dieses Verhalten beim Laden bzw. Entladen ist unsymmetrisch, annähernd dem einer Diode.

[0030] Der je nach Stromrichtung veränderliche Diffusionswiderstand wird durch eine Funktion beschrieben, deren Verlauf für eine 6-zellige Starterbatterie mit einer Kapazität von 60 Ah Batterie in Fig. 4 dargestellt ist.

[0031] Im Ladezustand sind die $R = R_p$. Bei Entladung sind die R dagegen abhängig von der Spannung. Für negative Spannungswerte wird der Diffusionswiderstand R dabei sehr klein, wodurch die Warburg-Impedanz W_p fast zu einer reinen Kapazität wird.

[0032] Berücksichtigt werden auch kinetische Vorgänge, wie Entlade- und Ladekinetik des Durchtritts und die parasitären Gasungsreaktionen. Diese sind in der Diode D nachgebildet, da die Lade- und Entladekinetiken grobe Ähnlichkeit mit einer Diodenkennlinie haben.

[0033] Die einzelnen Abhängigkeiten sind beispielhaft in nachstehenden Gleichungen gegeben. Die dabei verwendeten Formelzeichen stehen für folgende Größen:

v = Spannung über der Diode
 v_{gr} = "Grenzspannung" der Diode bei Entladung
 U_{we} = mittlere Beladung der Elektrolyt-Warburg-Impedanz, Maß für den Ladezustand.

[0034] Das Strom-/Spannungs-Verhalten des diodenähnlichen Elementes D für Spannungen $v > 0$ an der Diode, d. h. für Ströme in Sperrrichtung, wird durch einen Zusammen-

hang ähnlich einem Potenzgesetz, vorzugsweise der un-
abhängigkeits

$$I_{\text{Diod}} = a v^b + I_g \cdot \exp(v/U_g)$$

nachgebildet, wobei a ein Parameter der Dimension Strom/
Spannung^b ist und wobei die dimensionslose Konstante b so
gewählt wird, dass $b > 1,5$ und vorzugsweise $b \sim 2$ gilt. I_g
und U_g sind Parameter, die die Gasung beschreiben. Der Pa-
rameter I_g ist von der Dimension Strom und der Parameter
 U_g von der Dimension Spannung und beide Parameter wer-
den angepasst.

[0035] Fig. 4 zeigt im Ladebereich ("L") einen typischen
Verlauf der obigen Formel für eine 60 Ah Batterie.

[0036] Die nachstehende Funktion für den Fall $v < 0$ be-
schreibt ein Verhalten, das bei kleinen Überspannungen v
die Entladung noch stark hemmt, dann aber mit steigendem
Betrag der Überspannung v den Diodenstrom quadratisch
anwachsen lässt, dies im Bereich der Grenzspannung v_{gr}
durch einen hyperbolischen Beitrag noch weiter verstärkt
(Teilformel (A)), dann aber aus numerischen Gründen stetig
in eine reine Parabel übergeht (B).

(A) falls ($v < 0$) und ($v^2 \leq 0,99 \cdot v_{gr}^2$)
dann $I_{\text{Diod}} = -a \cdot v^2 / (v_{gr}^2 - v^2)$

(B) falls ($v < 0$) und ($v^2 > 0,99 \cdot v_{gr}^2$)
dann $I_{\text{Diod}} = -a \cdot (99 + 0,0001/v_{gr}^2 \cdot (v^2 - 0,99 \cdot v_{gr}^2))$

[0037] Der Vorfaktor a von der Dimension [Zeit^{-1}] ist der
die Diode beschreibende Anpassungsparameter und wird
ebenso wie der Parameter Schwellspannung v_{gr} angepasst.

[0038] Eine solche Kennlinie ist in Fig. 4 für das Beispiel
des oben genannten Bleiakkumulators dargestellt. Die Figur
zeigt im Entladebereich ("E") den typischen Verlauf des
Diodenstroms I_{Diod} in Abhängigkeit von der Spannung v
an der Diode.

[0039] Bewährt hat sich alternativ auch ein Ansatz der un-
gefähren Form

$$I_{\text{Diod}} = I_0 \cdot \sinh(v/v_{gr})$$

wobei der Parameter I_0 die Dimension eines Stromes und
der Parameter Schwellspannung v_{gr} die Dimension einer
Spannung hat und beide Parameter angepasst werden.

[0040] Die mittlere Beladung U_{we} der Warburg-Impedanz
 W_e ist ein Maß für den Ladezustand SOC.

[0041] Die bei Strom i geflossene Ladungsmenge $Q = \int i \cdot dt$
verändert die mittlere Spannung U_{we} an der Warburg-
Impedanz W_e mit der Kapazität C , ausgehend von ihrem
Anfangswert $Start_U_{we}$ entsprechend

$$U_{we} := Start_u_{we} + Q/C.$$

[0042] Für den Ladezustand SOC gilt damit im Falle einer
6-zelligen Bleibatterie:

$$SOC = U_{we}/1,2$$

[0043] Bei tiefen Ladezuständen SOC ergibt sich eine zu-
nehmend stärkere Verringerung der Spannung unter ge-
gebener Last als bei höheren Ladezuständen, bis bei sehr tiefen
Ladezuständen die Spannung zusammenbricht. Es hat sich
gezeigt, dass die Abweichungen am Entladeende nähe-
rungsweise durch einen mit dem Entladegrad stark zuneh-
menden Widerstand beschrieben werden können.

[0044] Die Widerstände der Warburg-Impedanz W_p sind

stromrichtungsabhängig. Die Widerstandswerte der in der
Warburg-Impedanz W_p verschalteten Widerstände R_k wer-
den durch ein Ersatzschaltbild gemäß Fig. 3 wiedergegeben,
bestehend aus einem Widerstand R_{k-l} , parallel geschaltet zu
einem Widerstand R_{k-e} , welcher in Serie zu einer idealen
Diode $D1$ in Entladerichtung liegt.

[0045] Vorzugsweise werden die Werte R_{k-l} für alle Wi-
derstände R gleich gewählt. Die Werte R_{k-e} hängen von den
Spannungen U an den benachbarten Kondensatoren C ab,
insbesondere von deren Mittelwert, wobei diese Abhängig-
keit für alle Widerstände k die gleiche ist.

[0046] R_{k-e} wird für hohe positive Spannungen U vor-
zugsweise in gleicher Größenordnung wie R_{k-l} gewählt.
 R_{k-e} wird für niedrige Spannungen U vorzugsweise um
mindestens eine Größenordnung kleiner als R_{k-l} gewählt.
Als Übergang zwischen diesen Extremwerten wird vorzugs-
weise eine stetige und monotone Funktion gewählt. Einen
typischen bewährten Verlauf zeigt Fig. 5. Hierin ist R auf ei-
nen Maximalwert R_p bezogen, der gleichzeitig einer der
Anpassungsparameter ist.

[0047] Zur Beschreibung der Temperaturabhängigkeit
von Parametern und/oder Konstanten wird ein funktionaler
Zusammenhang gewählt, der seinerseits Parameter und
Konstanten enthält, und diese Parameter und Konstanten P
iterativ optimiert, wobei die funktionale Abhängigkeit von
der Temperatur vorzugsweise etwa die Form

$$P = P_0 \cdot \exp(-T_0/T)$$

30 hat. Dabei hat die Größe P_0 die gleiche Dimension wie der
Parameter P , und die Referenztemperatur T_0 die Dimension
einer Temperatur.

[0048] Die Qualität der Wiedergabe des Batterieverhal-
tens durch das erfindungsgemäße Ersatzschaltbild ergibt
sich aus den Fig. 6 und 7.

[0049] Die Figuren zeigen ein Beispiel für die Anwen-
dung des Ersatzschaltbildes auf eine Blei-Starter-Batterie
mit einer Nennkapazität von 60 Ah. In Fig. 6 befindet sich
die Batterie auf einer Temperatur von 25°C, in Fig. 7 auf ei-
ner solchen von -10°C.

[0050] Die durchgezogenen Linien stellen den aufgepräg-
ten Strom I und den gemessenen Spannungsverlauf U_m der
Batterie dar. Die offenen Kreise stellen die Spannungsant-
wort U_s des angefütteten Ersatzschaltbildes dar.

[0051] Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht es
kritische Belastungssituationen vorherzusagen. Das ver-
wendete Ersatzschaltbild gibt das Batterieverhalten wieder
und es ist nur wenig Rechner-Speicherplatz erforderlich zur
Nachbildung des Lade- und Entladeverhaltens eines Akku-
mulators.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung des Ladezustands und der
Belastbarkeit eines elektrischen Akkumulators durch
Messung von Strom, Spannung und Temperatur und
Vergleich der gemessenen Werte mit den entsprechen-
den Werten des Verhaltens eines Ersatzschaltbildes des
Akkumulators, wobei die Parameter der Komponenten
des Ersatzschaltbildes und die Zustandsgrößen derart
variiert werden, dass Übereinstimmung mit den gemes-
senen Werten hergestellt wird und dass aus den so er-
mittelten angepassten Parametern und Zustandsgrößen
auf den Ladezustand und die Belastbarkeit geschlossen
wird, dadurch gekennzeichnet, dass das Ersatzschalt-
bild des Akkumulators eine Reihenschaltung aus einem
Innenwiderstand R_i , einer Parallelschaltung aus einer
Warburg-Impedanz W_p für Diffusionsvorgänge in den

aktiven Massen und einem Element mit diodenähnlicher Kennlinie D, das die kinetischen Abhängigkeiten der Batterie enthält, und einer Warburg-Impedanz We für die Säurediffusion im Akkumulator, und gegebenenfalls einer Konstantenspannungsquelle U_0 ist, wobei die Warburg-Impedanz W_p stromrichtungs- und spannungsabhängige Widerstände enthält, das Element D eine diodenähnliche Kennlinie besitzt mit Durchlassrichtung bei Strömen in Entladerichtung des Akkumulators, und die Warburg-Impedanzen W_e und W_p einen Kondensator C enthalten dem mindestens eine Serienschaltung aus einem Widerstand R und einem weiteren Kondensator C, parallelgeschaltet ist, dem gegebenenfalls jeweils weitere Serienschaltungen aus Widerstand und Kondensator parallelgeschaltet sind und die Konstantenspannungsquelle U_0 auch die Abhängigkeit der unbelasteten Batteriespannung von der aktuellen Elektrolytkonzentration berücksichtigt und dass aus der mittleren Spannung $U - W_e$ an den Kondensatoren der Elektrolyt-Warburg-Impedanz W_e ein Maß für den Ladezustand SOC des Akkumulators abgeleitet wird und aus den so erhaltenen Werten von Ladezustand und Parametern des Ersatzschaltbildes auf die Belastbarkeit des Akkumulators geschlossen wird, dass diese Werte angezeigt werden, und/oder dass aus diesen Werten Konsequenzen für den Betrieb des Akkumulators und/oder des mit dem Akkumulator verbundenen Systems abgeleitet werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ausgehend von einem bekanntem Ladezustand des Akkumulators durch Variation der Parameter des Ersatzschaltbildes eine Minimierung der Differenz zwischen berechneter und gemessener Spannung U, insbesondere nach der Methode der kleinsten Quadrate, durchgeführt und ein optimaler Satz von inneren Parametern des Ersatzschaltbildes ermittelt wird, oder dass bei unbekanntem Ladezustand bei bekannten inneren Parametern des Ersatzschaltbildes, ausgehend von einem geschätzten Ladezustand des Akkumulators, durch Variation des Ladezustandes in mehreren Durchläufen die Spannungsantwort des Ersatzschaltbildes so lange berechnet und mit der gemessenen verglichen wird, bis berechnete und geschätzte Spannungen übereinstimmen, und dass aus den so erhaltenen Werten von Ladezustand und Parametern des Ersatzschaltbildes auf die Belastbarkeit des Akkumulators geschlossen wird, dass diese Werte angezeigt werden, und/oder dass aus diesen Werten Konsequenzen für den Betrieb des Akkumulators und/oder des mit dem Akkumulator verbundenen Systems abgeleitet werden.

3. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Strom-/Spannungs-Verhalten des diodenähnlichen Elementes D für Spannungen $v > 0$ an der Diode, d. h. für Ströme in Sperrrichtung, der Funktion

$$I_{\text{Diod}} = a \cdot v^b + I_g \cdot \exp(v/U_g)$$

wobei die dimensionslose Konstante b so gewählt wird, dass $b > 1,5$, vorzugsweise $b \sim 2$ ist und die Parameter I_g , a, U_g in Abhängigkeit vom Akkumulator angepasst werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Strom-/Spannungs-Verhalten des diodenähnlichen Elementes D für Spannungen $v < 0$ an der Diode, d. h. für Ströme in Durchlassrichtung, durch die Funktion

$$(A) \text{ falls } (v < 0) \text{ und } (v^2 \leq 0,99 \cdot v_{gr}^2)$$

$$\begin{aligned} \text{dann } I_{\text{Diod}} &:= -a \cdot v^2 / (v_{gr}^2 - v^2) \\ (B) \text{ falls } (v < 0) \text{ und } (v^2 > 0,99 \cdot v_{gr}^2) \\ \text{dann } I_{\text{Diod}} &:= -a \cdot (99 + 0,0001/v_{gr}^2 \cdot (v^2 - 0,99 \cdot v_{gr}^2)) \end{aligned}$$

nachgebildet wird, wobei die Faktoren a und Schwellspannung v_{gr} in Abhängigkeit vom Akkumulator angepasst werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Strom-/Spannungs-Verhalten des diodenähnlichen Elementes D für Spannungen $v < 0$ an der Diode, d. h. für Ströme in Durchlassrichtung, durch die Funktion

$$I_{\text{Diod}} = I_0 \cdot \sinh(v/v_{gr})$$

nachgebildet wird, wobei die Parameter I_0 und Schwellspannung v_{gr} in Abhängigkeit vom Akkumulator angepasst werden.

6. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Parameter a des diodenähnlichen Elementes D für Spannungen v an der Diode mit $v > 0$, d. h. für Ströme in Sperrrichtung, vom Ladezustand SOC abhängt und vorzugsweise etwa entsprechend der Formel

$$a = (1 - \text{SoC})^c \cdot a_0$$

bestimmt wird, wobei der Ladezustand SoC im vollgeladenen Zustand des Akkumulators den Wert 1 und im gänzlich entladenen Zustand den Wert 0 annimmt, der dimensionslose Exponent c etwa aus dem Wertebereich $0,5 < c < 2$ gewählt wird, und a_0 ein Anpassungsparameter der Dimension Strom/Spannung^b ist.

7. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Widerstandswerte der in der Warburg-Impedanz W_p verschalteten Widerstände R ihrerseits durch ein Ersatzschaltbild wiedergegeben werden, welches einen Widerstand R_{k-1} parallel zu einem Widerstand R_{k-e} aufweist, der in Serie zu einer idealen Diode D1 in Entladerichtung liegt, wobei

- (a) alle Widerstände R_{k-1} gleich gewählt werden,
- (b) die Werte R_{k-e} von den Spannungen U an den benachbarten Kondensatoren abhängen, insbesondere von deren Mittelwert, und diese Abhängigkeit für alle Widerstände R_{k-e} gleich ist,
- (c) R_{k-e} für hohe positive Spannungen U in gleicher Größenordnung wie R_{k-1} gewählt wird,
- (d) R_{k-e} für niedrige Spannungen U um mindestens eine Größenordnung kleiner als R_{k-1} gewählt wird,
- (e) wobei als Übergang zwischen diesen Extremwerten vorzugsweise eine stetige und monotone Funktion verwendet wird.

8. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass zur Beschreibung der Temperaturabhängigkeit von Parametern und/oder Konstanten ein funktionaler Zusammenhang verwendet wird, der seinerseits Parameter und Konstanten enthält, und dass diese Parameter und Konstanten P iterativ optimiert werden, wobei die funktionale Abhängigkeit von der Temperatur T vorzugsweise etwa die Form

$$P = P_0 \cdot \exp(-T_0/T)$$

hat.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

Fig.1

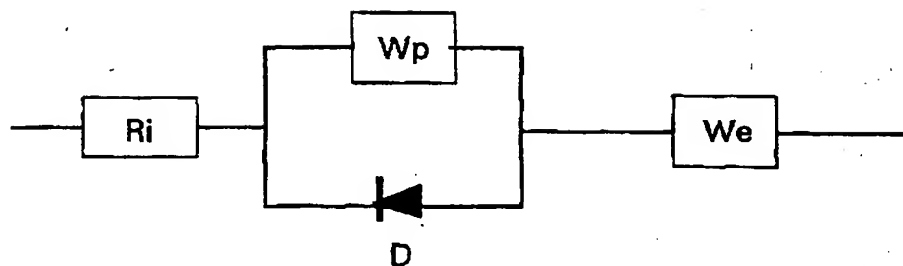


Fig.2

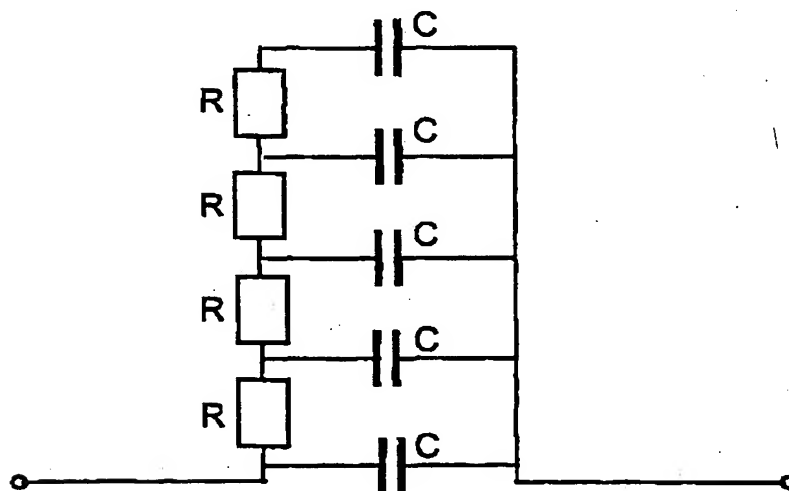


Fig.3

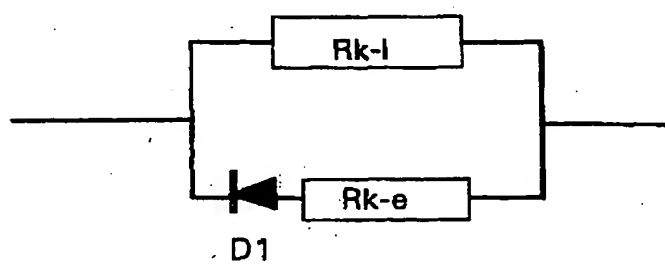


Fig.4

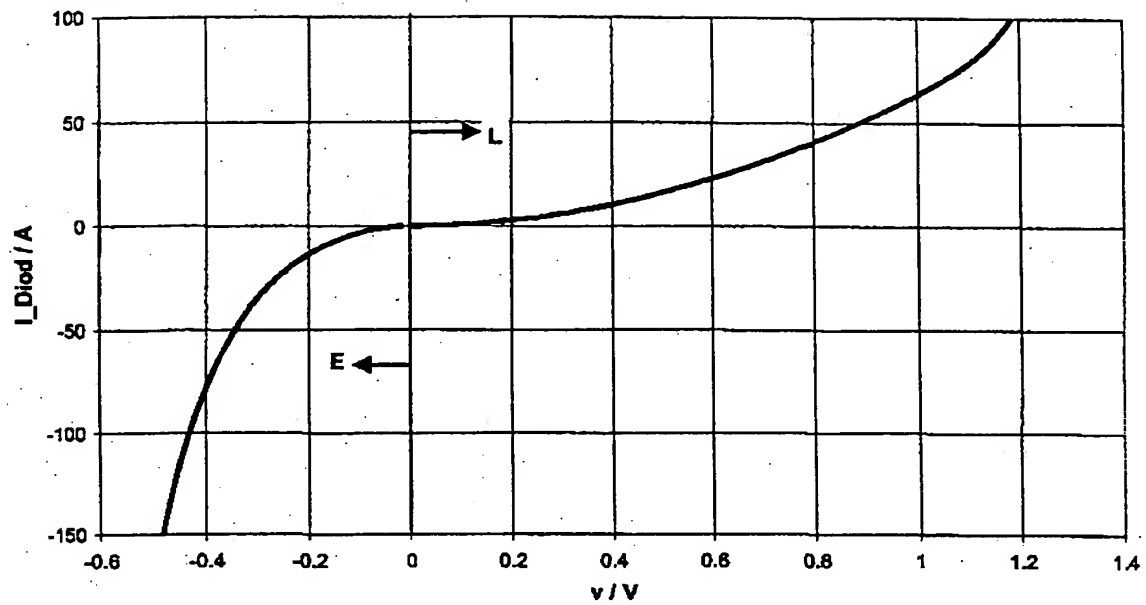


Fig.5

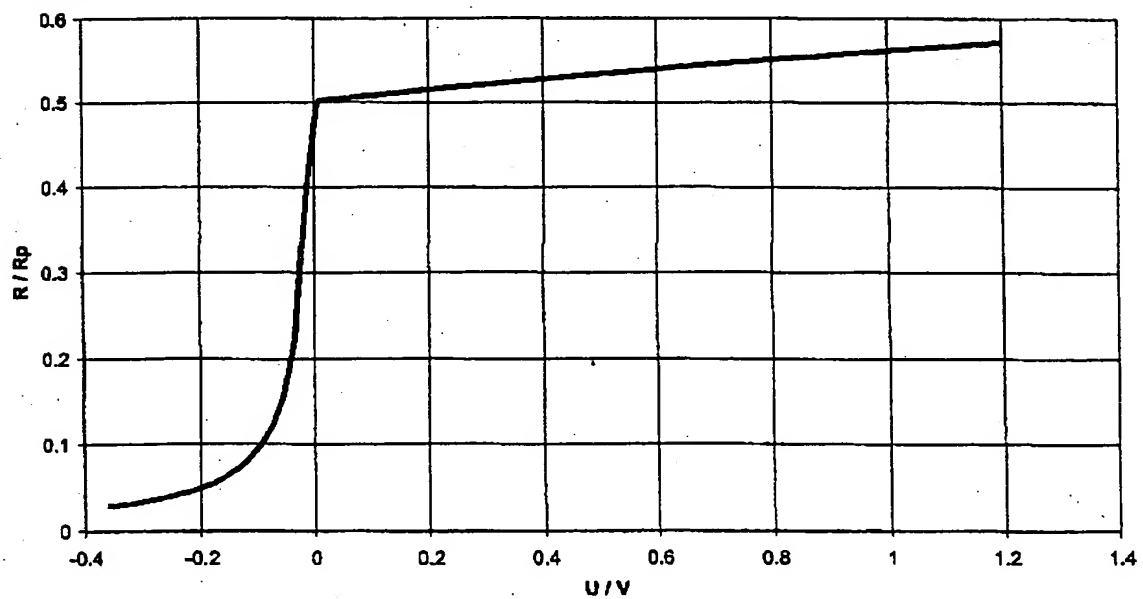


Fig.6

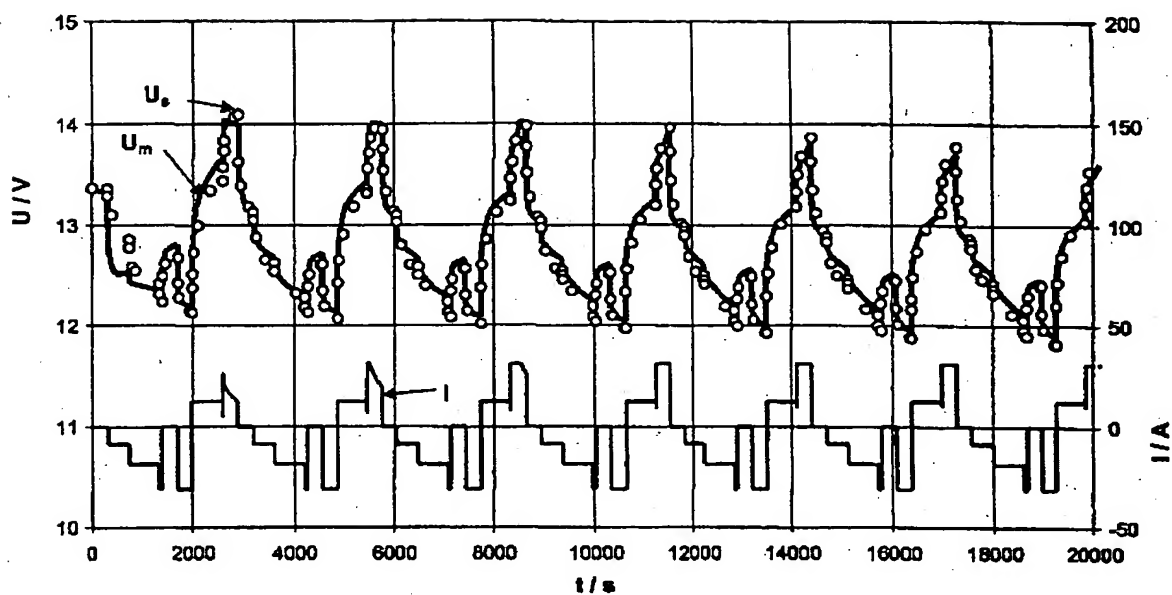
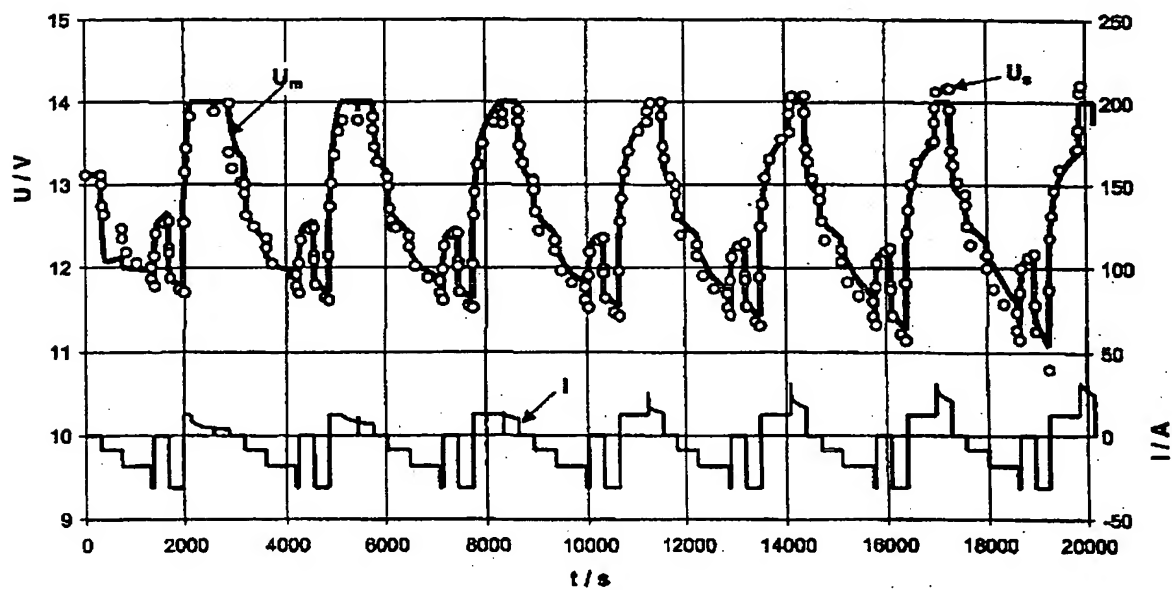


Fig.7





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 01 10 4989

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
A, D	WO 90 13823 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 15. November 1990 (1990-11-15) * Anspruch 1 *	1	G01R31/36
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 016, no. 323 (P-1386), 15. Juli 1992 (1992-07-15) & JP 04 095788 A (SHIN KOBE ELECTRIC MACH CO LTD), 27. März 1992 (1992-03-27) * Zusammenfassung *	1	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
			G01R
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	
DEN HAAG		7. August 2001	
		Prüfer	
		Six, G	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1502 03 82 (P04022)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 01 10 4989

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

07-08-2001

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9013823 A	15-11-1990	AT 94651 T	15-10-1993
		AU 5555790 A	29-11-1990
		DE 4014737 A	15-11-1990
		DE 59002764 D	21-10-1993
		EP 0471698 A	26-02-1992
		ES 2045915 T	16-01-1994
		JP 4505660 T	01-10-1992
		US 5349540 A	20-09-1994
JP 04095788 A	27-03-1992	JP 2536257 B	18-09-1996

FPO FORM P061

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.